

# NEWAGE実験89：

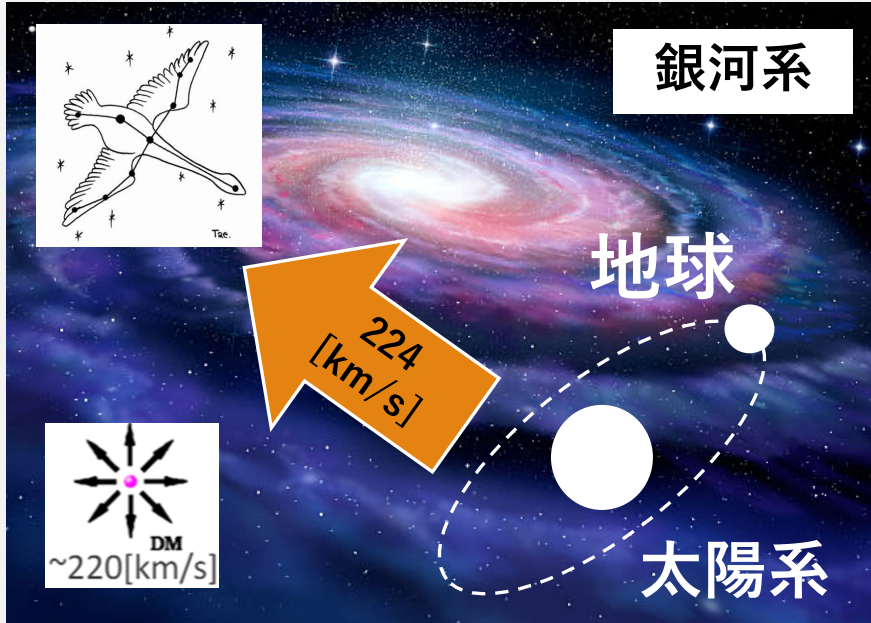
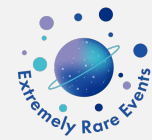
## 地上実験に向けた 大型ガスTPCの運用試験

神戸大理 生井 凌太

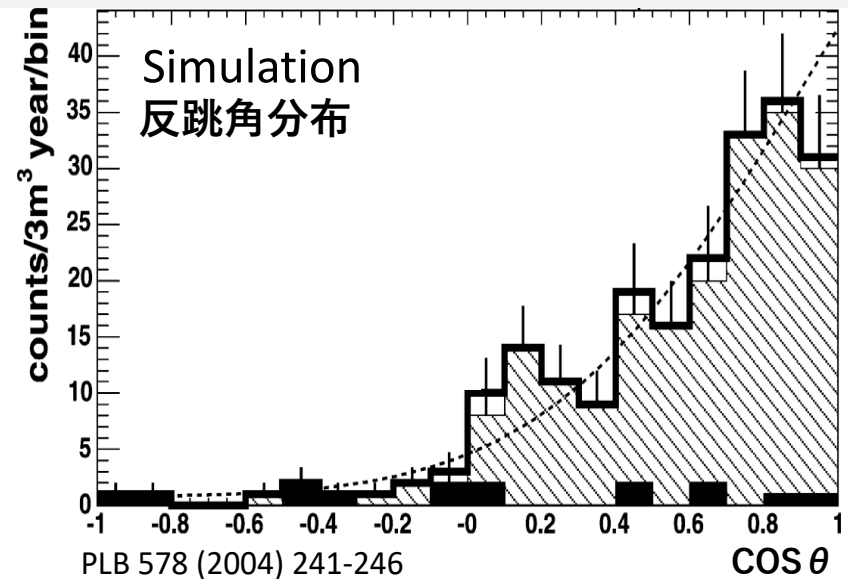
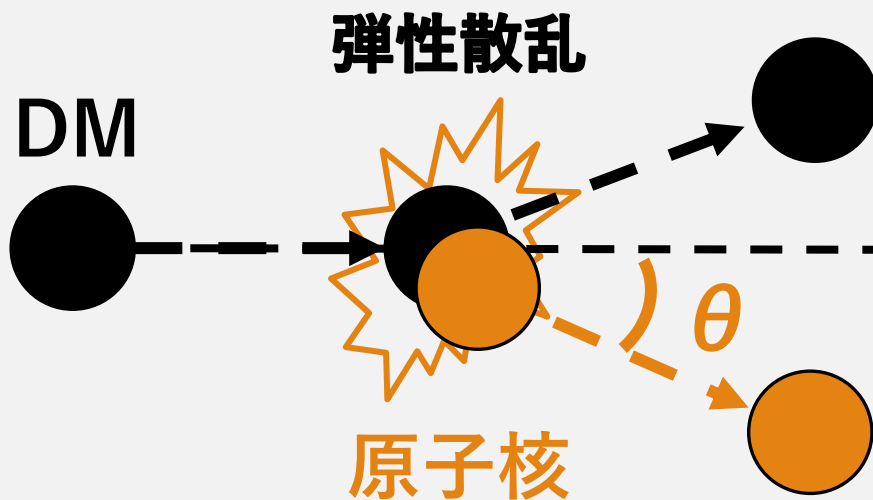
身内賢太郎, 東野聡, 鈴木啓司, 西田汐里, 遠山和佳子

2026/3/25

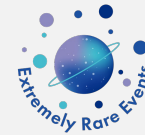
# 方向感度をもつ暗黒物質探索



- 不明な質量の存在の観測事実  
→ 世界中での暗黒物質 (DM) 探索
- 方向に感度を持つ探索  
→ DMの到来方向依存性を利用
- どうやって?  
→ DM -原子核弾性散乱の反跳角分布を利用 (直接探索)

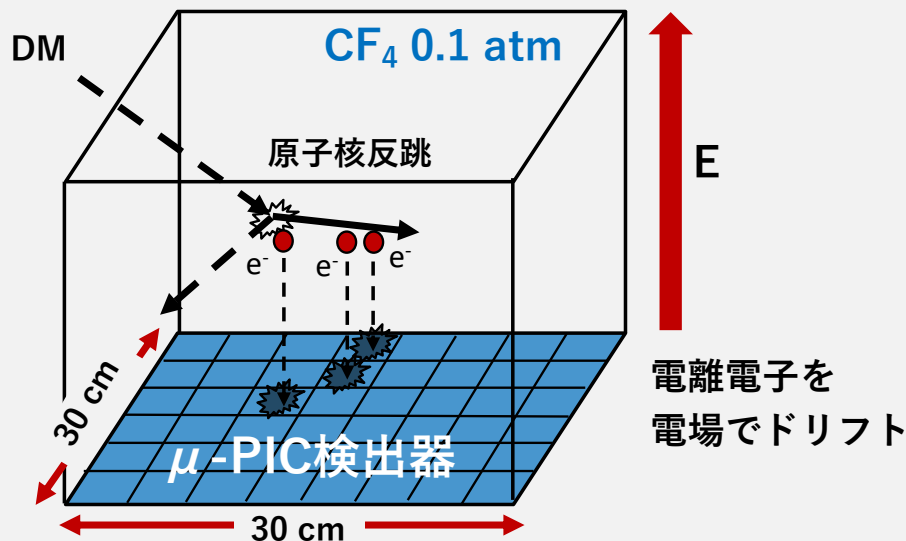


# NEWAGE実験

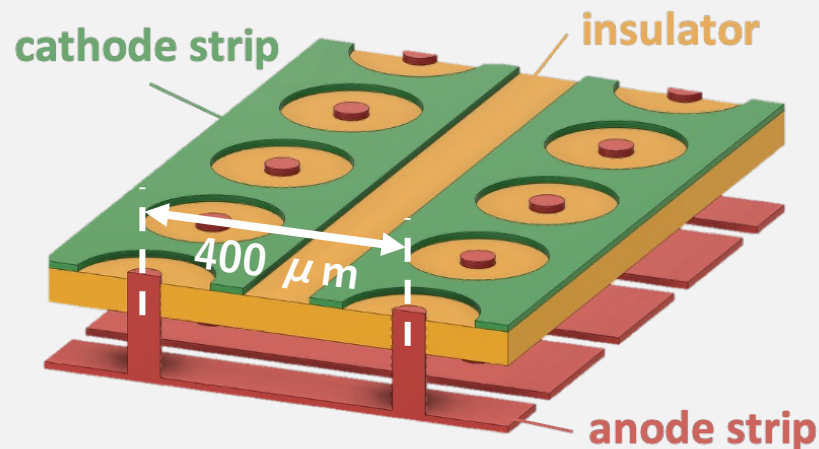


- 飛跡を三次元再構成することで反跳方向の情報を得る。
  - ガスTPCを使用

## ガスTPC (Time Projection Chamber)



## μ-PIC検出器



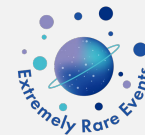
電離電子を  
電場でドリフト

- 二次元座標 + 時間による飛跡の3次元再構成
- 電極付近の高電場による電子のガス増幅

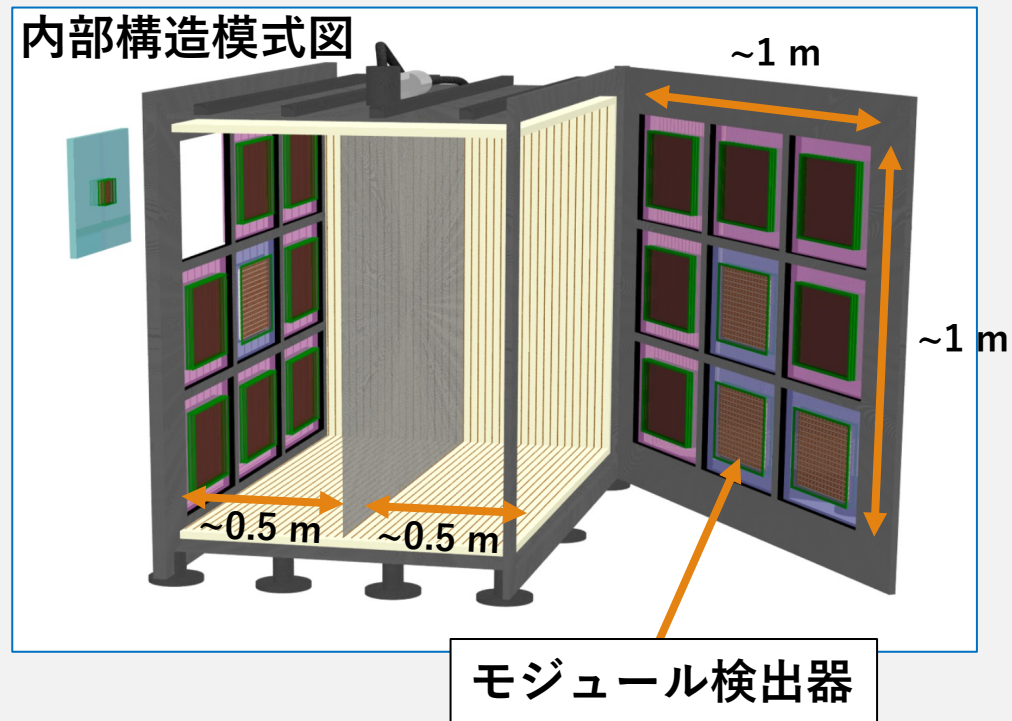
## ➤ DM検出感度向上のための取り組み

- 低背景事象化 ← 東野トーク (25pV2-8)
- 検出器の大型化

# C/N-1.0

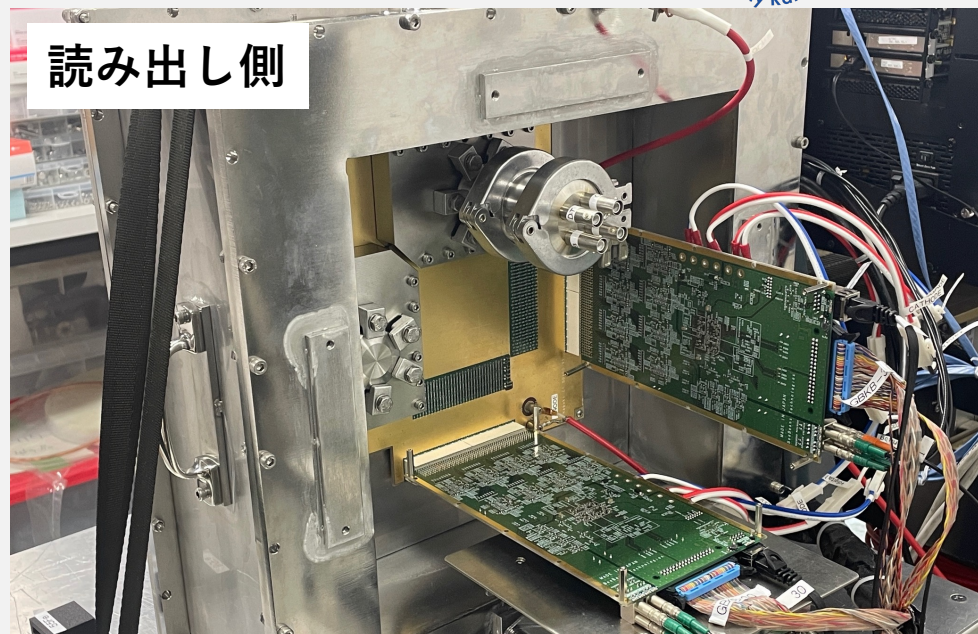
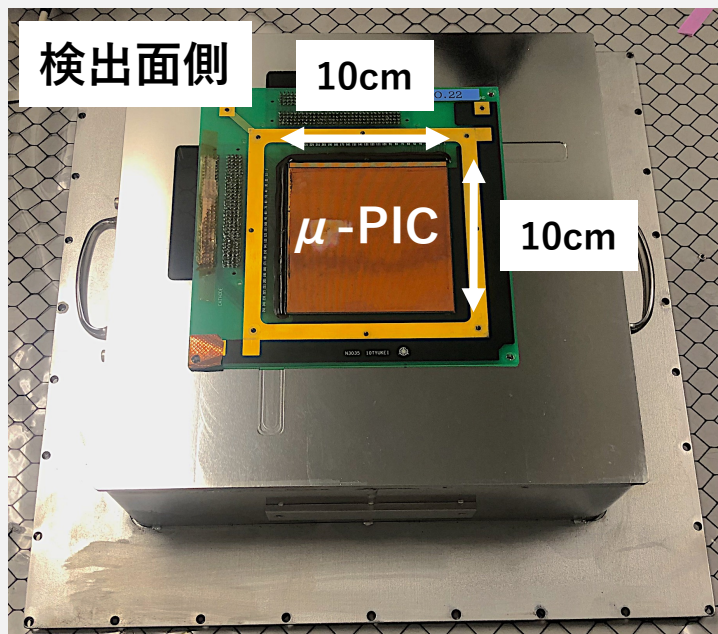


内部構造模式図



- 容積: ~1 m<sup>3</sup>
  - NEWAGEの約30倍
- モジュール型の検出器を最大18台搭載
  - C/N-1.0の動作検証
  - 方向感度をもつ「Module-1」検出器の開発

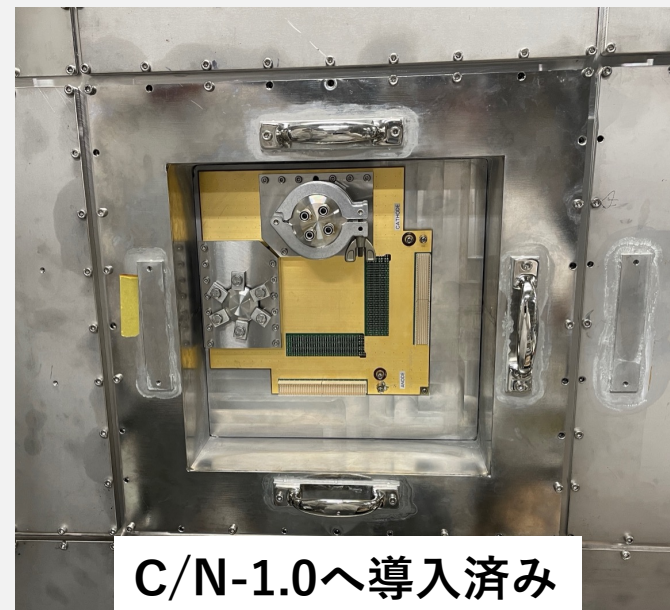
# Module-1



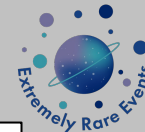
	Module-1	NEWAGE
Detection area	10×10 cm <sup>2</sup>	30×30 cm <sup>2</sup>
Strip pitch	800 μm	400 μm

- 読み出しチャンネル数の制約から  
ストリップ間隔がNEWAGEの倍

→ C/N-1.0検出器のデモンストレーションが目的



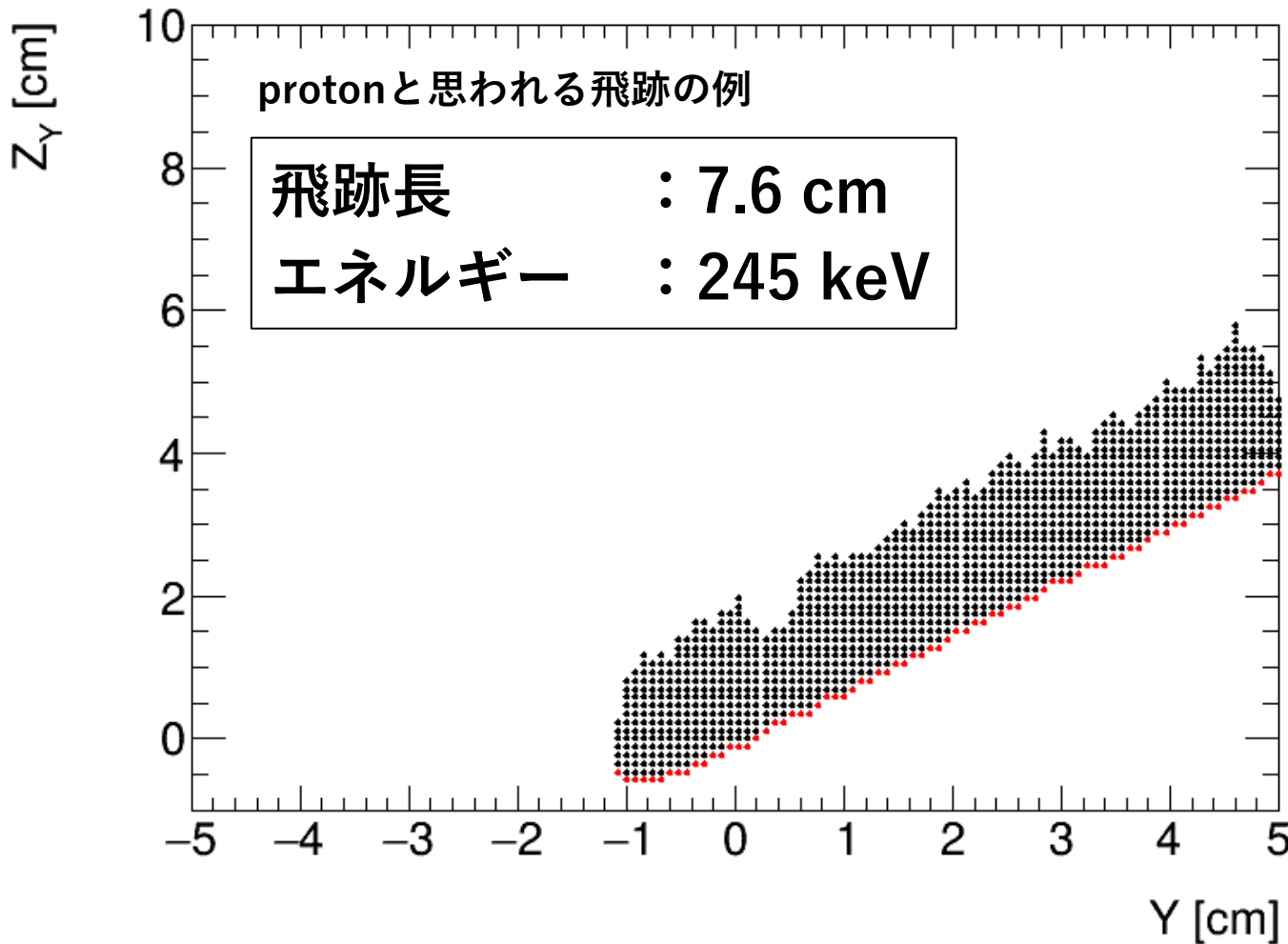
# Module-1



検出面側

10cm

## C/N-1.0で飛跡の取得に成功



detectio

strip

energy th  
w/ direct

- 読み  
ス

→ C/N-1.0検出

→ C/N-1.0の地上運用試験へ

導入済み

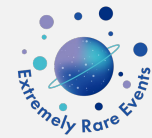
# C/N-1.0地上試験: background run

---

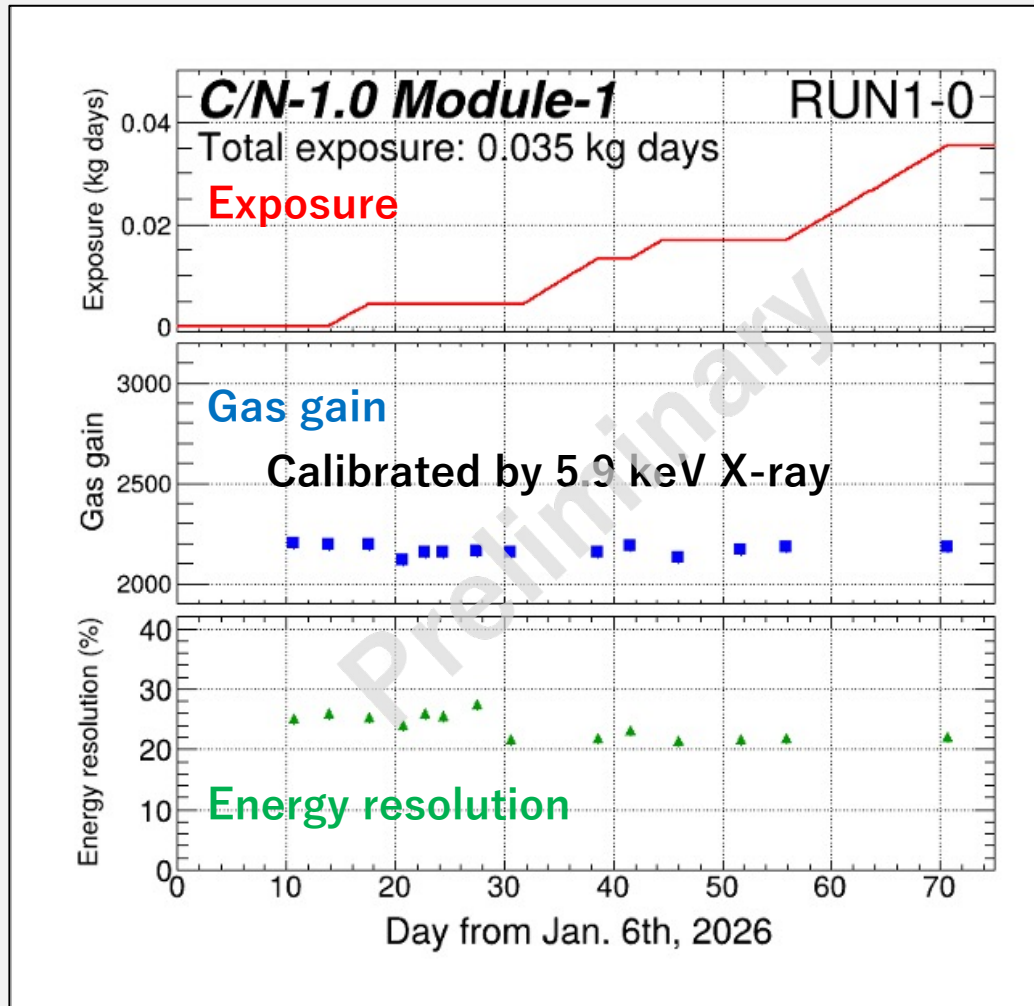
Module-1によるC/N-1.0の運用デモンストレーション

エネルギー情報のみによる解析  
角度情報は解析中

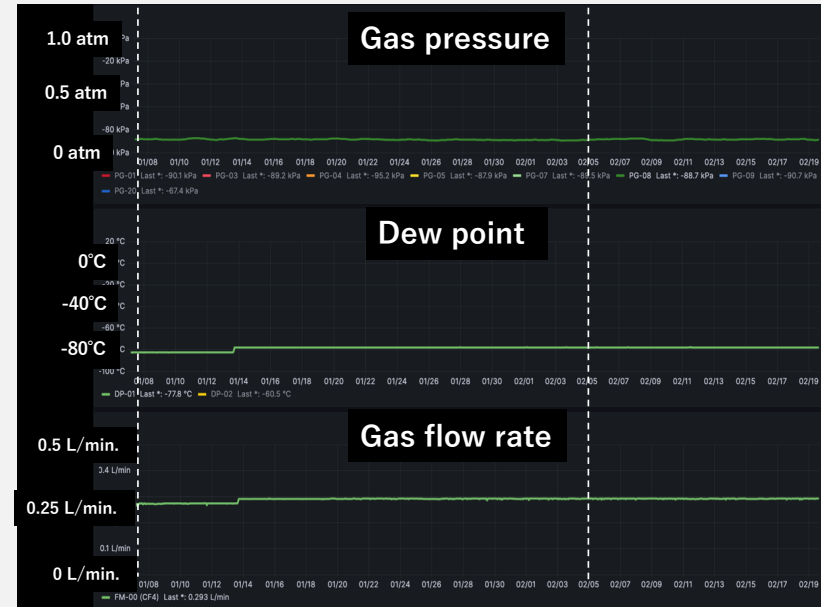
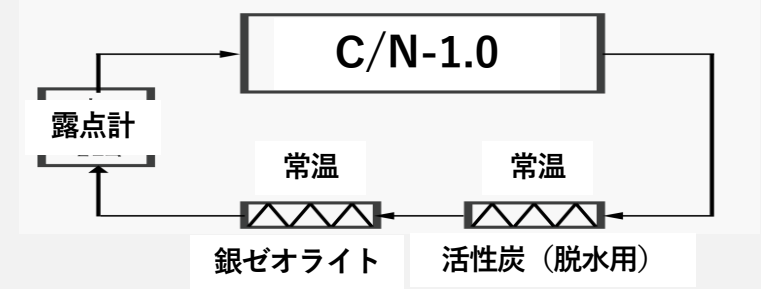
# 検出器ステータス



安定して70日以上稼働中

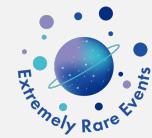


ガス循環系 (RI低減用)



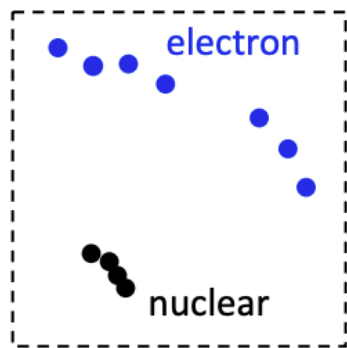
- ガス :  $\text{CF}_4$  0.1気圧
- Exposure: 0.035 kg days
- $^{55}\text{Fe}$  5.9 keV X線源を使用した定期キャリブレーションを実施。ゲインの不定性は約 $\pm 2\%$

# 事象選別: カットラインの決定



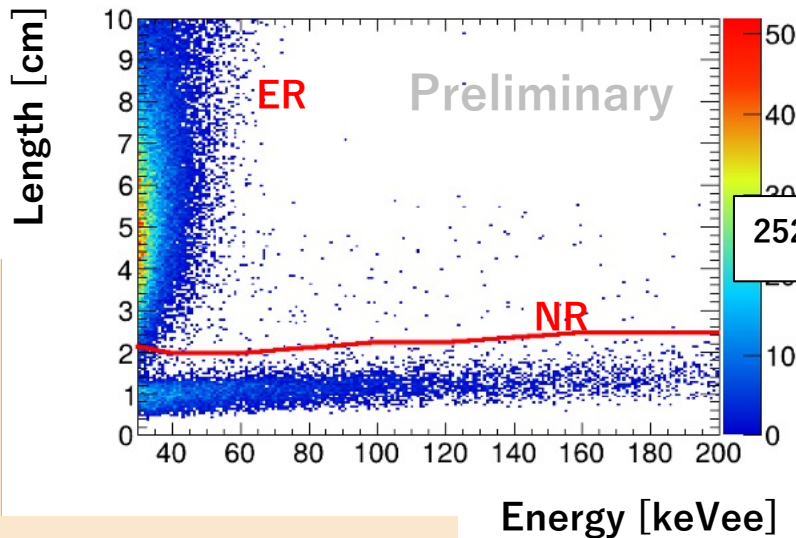
- 環境ガンマ線除去のため、有効体積カット + 2種類のカットを使用。
- $^{252}\text{Cf}$ 線源の中性子によるF反跳事象を使用してカットラインを決定。

## 1. Energy-Length cut



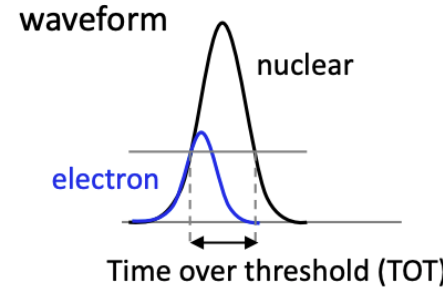
Track length of **electron** is **long**

Track length of **nuclear** is **short**



- Red line:  $+3\sigma$  from NR median

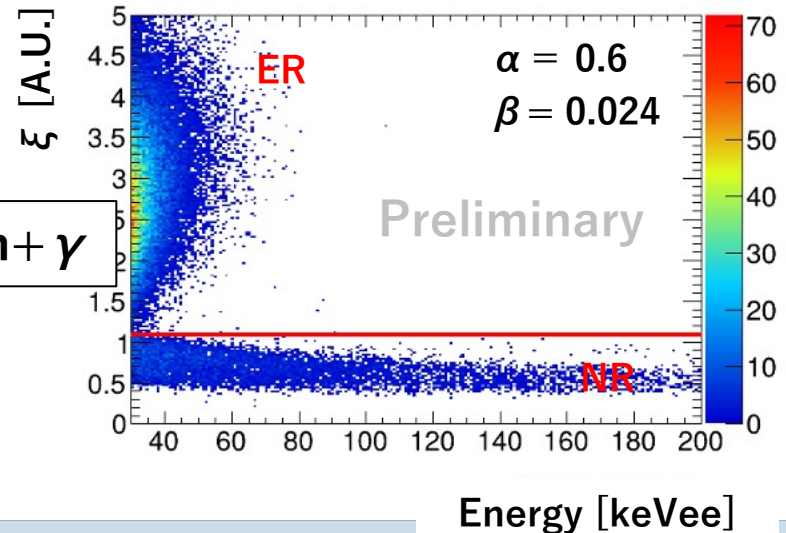
## 2. Energy-ToT cut



Electron has **small dE/dx**

Nuclear has **large dE/dx**

Define:  $\xi \equiv \Sigma \text{ToT} * \beta / \text{Energy}^\alpha$  (empirical)



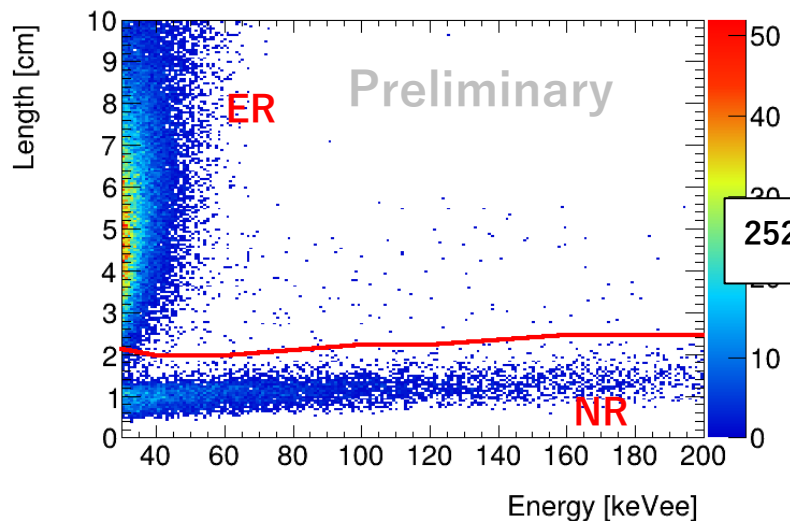
- Red line: constant parameter

# 事象選別: BG runへの適用

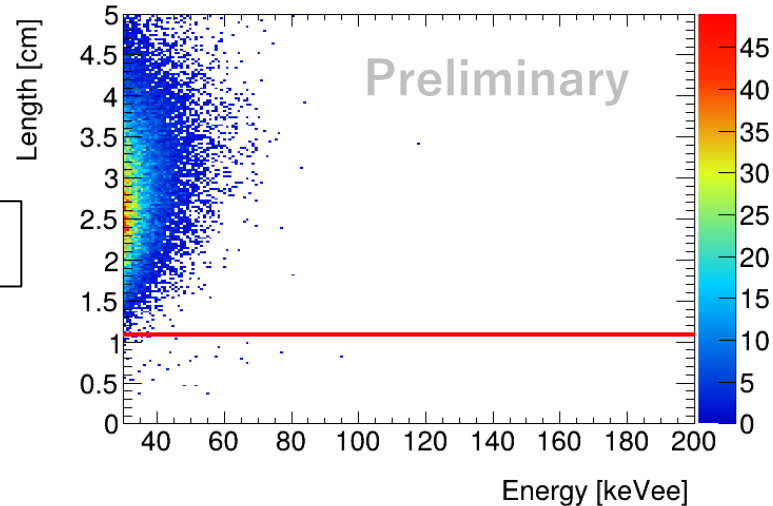
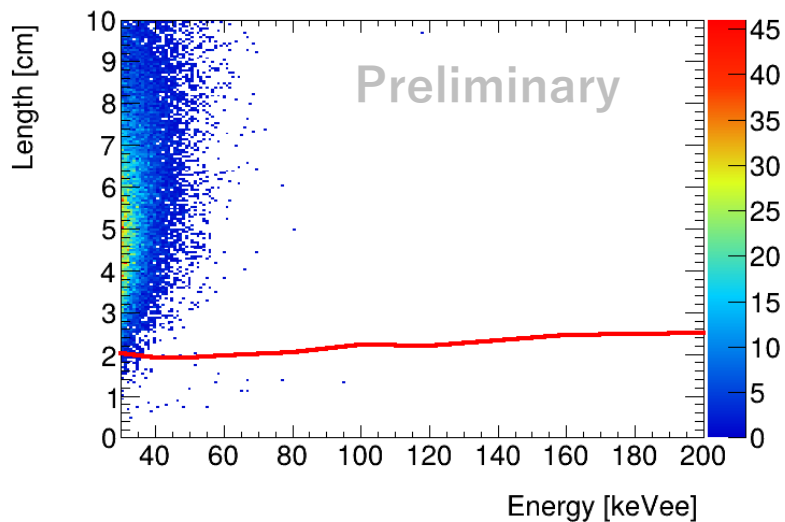
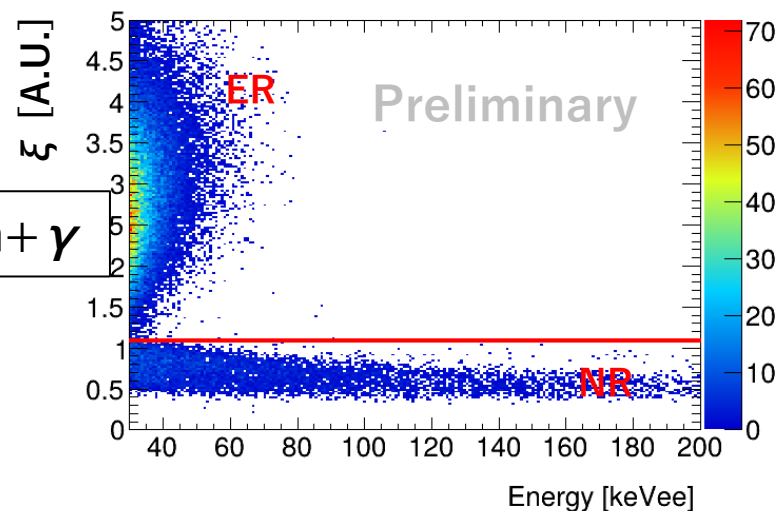


- カットラインをBG runに適用

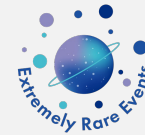
## 1. Energy-Length cut



## 2. Energy-ToT cut

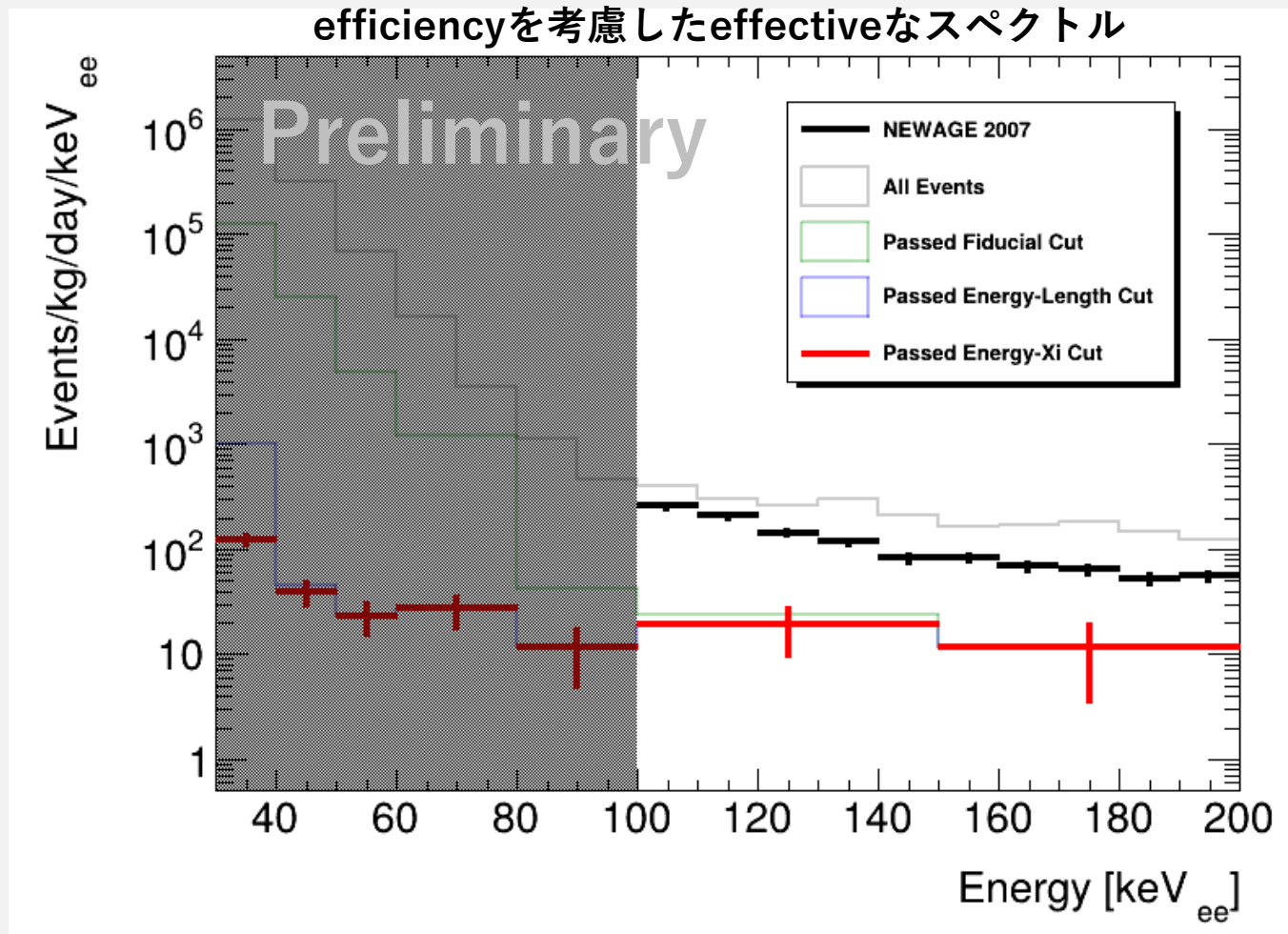


# エネルギースペクトル



## ➤ NEWAGEの地上試験とのエネルギースペクトルの比較

([Physics Letters B 654 \(2007\) 58-64](#))

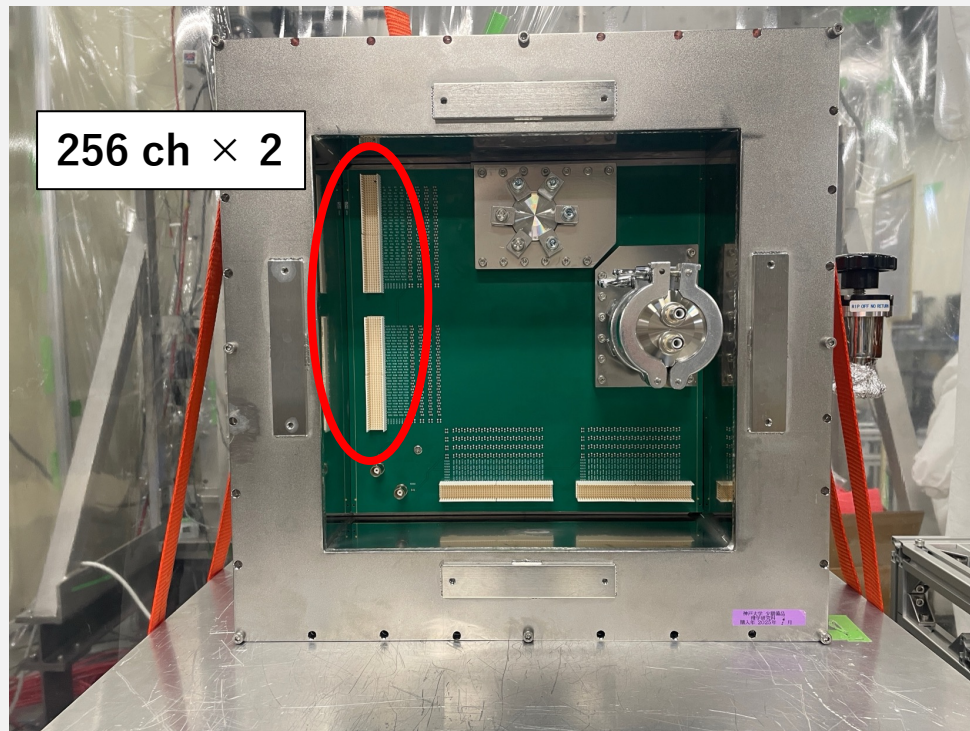


選別後の事象数はNEWAGE地上試験の同等以下であることを確認  
角度情報については現在解析中

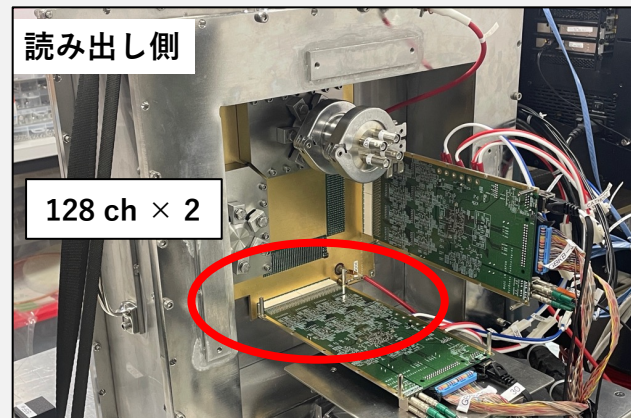
# 角度情報の再構成に向けて

- Module-1は読み出しが800  $\mu\text{m}$  pitch（現行NEWAGEの2倍）
  - 角度分解能が悪いことが予想される。
- 高位置分解能なモジュールの製作が必要。

## Module-2



## Module-1

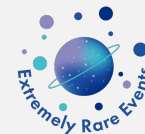


	Module-1	Module-2
Detection area	10×10 cm <sup>2</sup>	10×10 cm <sup>2</sup>
Strip pitch	800 $\mu\text{m}$	400 $\mu\text{m}$
チャンネル数	128 ch × 2	256 ch × 2

- 現行NEWAGEと同じ400  $\mu\text{m}$ のstrip pitch
  - 50 keV<sub>ee</sub>以下での角度情報再構成を目標

現在製作が進行中

# まとめ

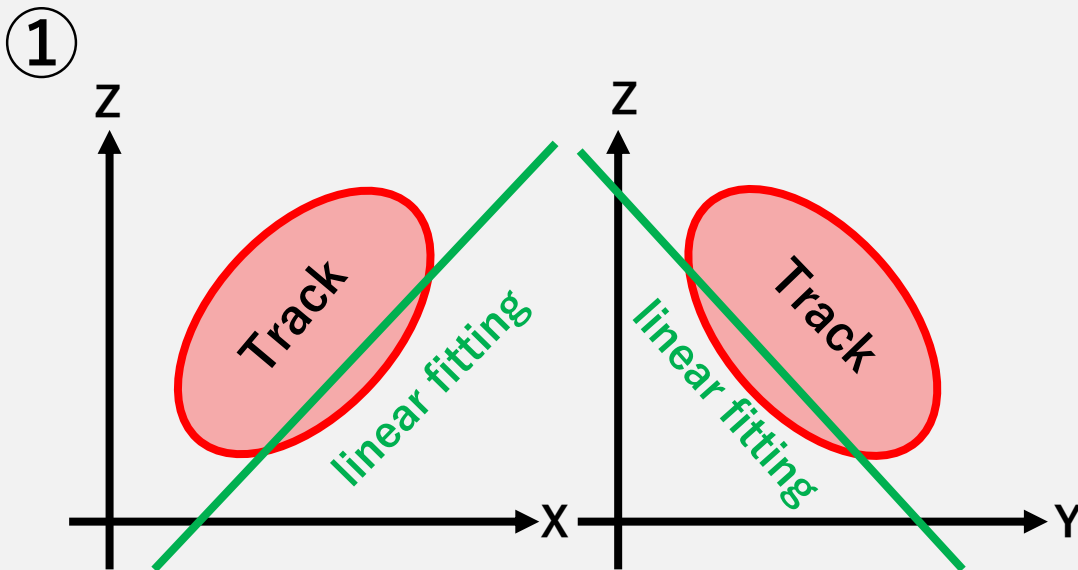


- ✓ NEWAGE：方向に感度をもつ暗黒物質直接探索
  
- ✓ 高感度化に向けて大型検出器を開発中
  - モジュール検出器：Module-1をinstall
  - Module-1を用いたC/N-1.0の運用試験が進行中
  
- ✓ 今後の課題
  - 角度情報の再構成
  - 背景事象の評価
  - 検出面積大型化
  - チャンネル間隔の高精細化
  
- ✓ Module-1より高位置分解能なモジュールを製作中

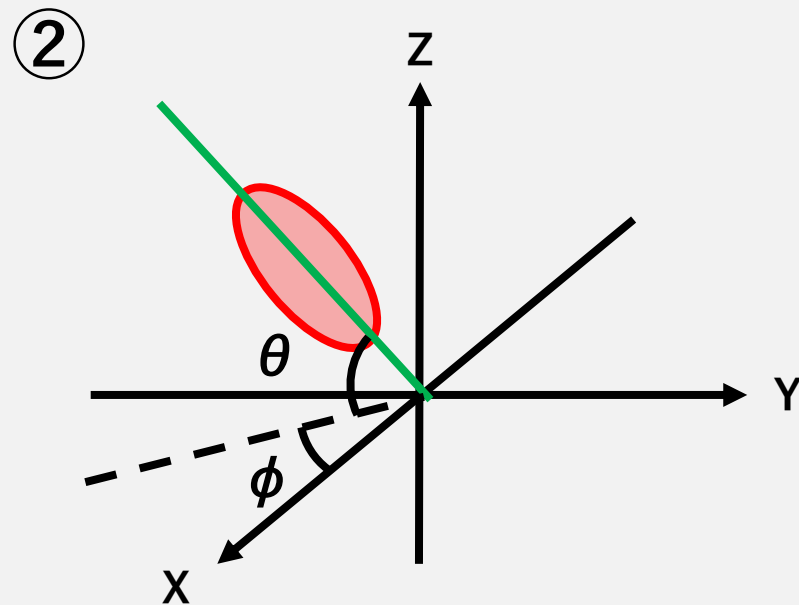
# Back up

---

# 角度計算方法

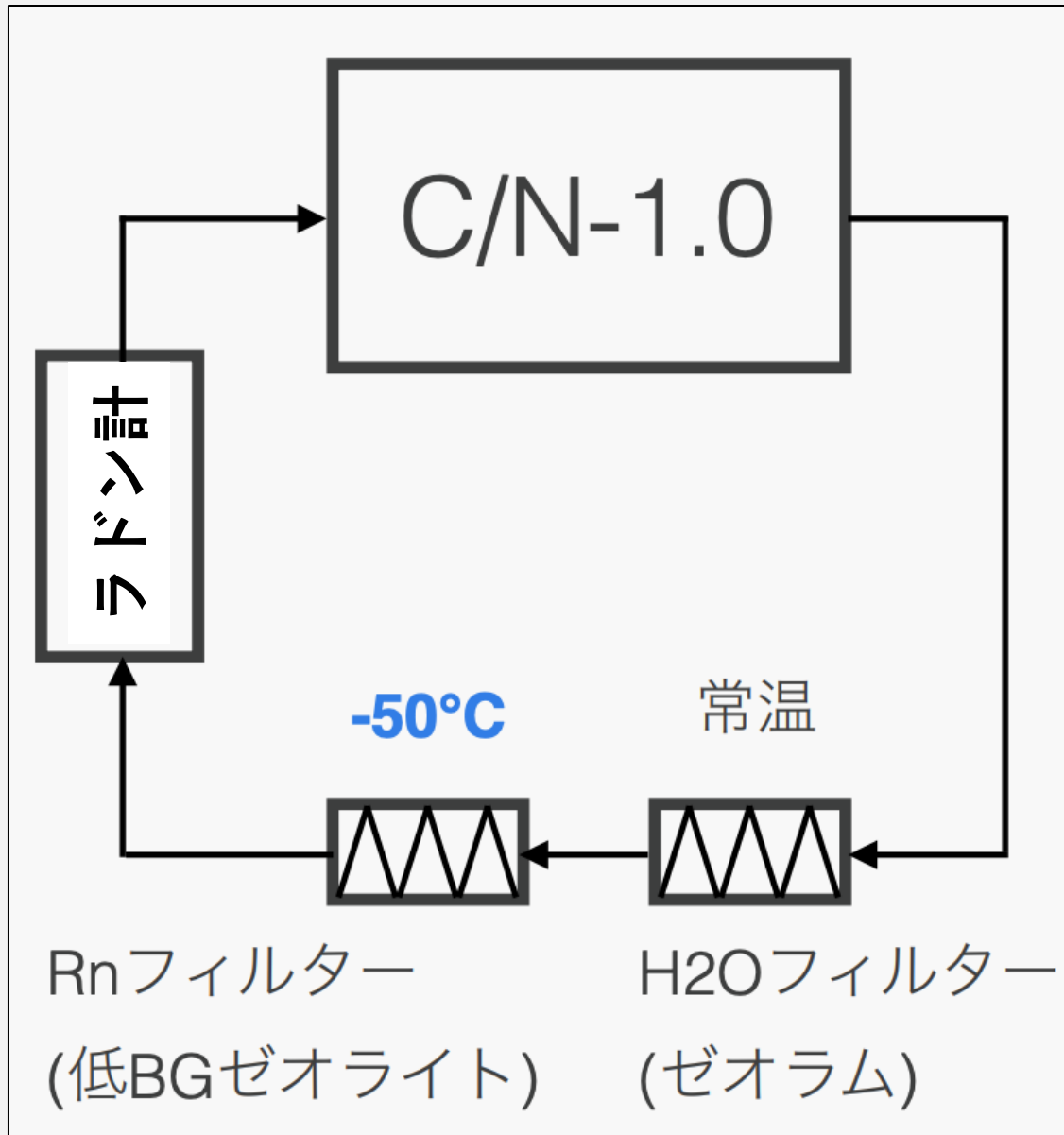


- F原子核反跳を事象選別
- X-Z、Y-ZのToTを線形fitting

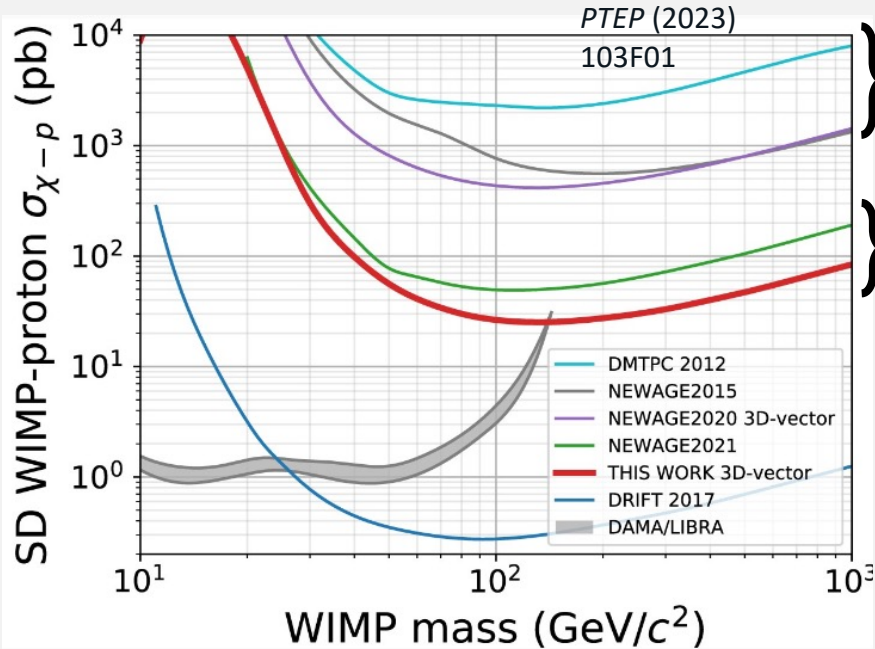


- X-Z、Y-Zの傾きから球面座標系における仰角、方位角を計算
- X-Z、Y-Zの傾きから球面座標系における仰角 $\theta$ 、方位角 $\phi$ を計算
- 線源照射方向に対する反跳方向 $\gamma$ を計算

# C/N-1.0 循環系



# μ-PIC開発の歴史と低バックグラウンド化の経緯



μ-PIC  
NEWAGE2015 & 2020



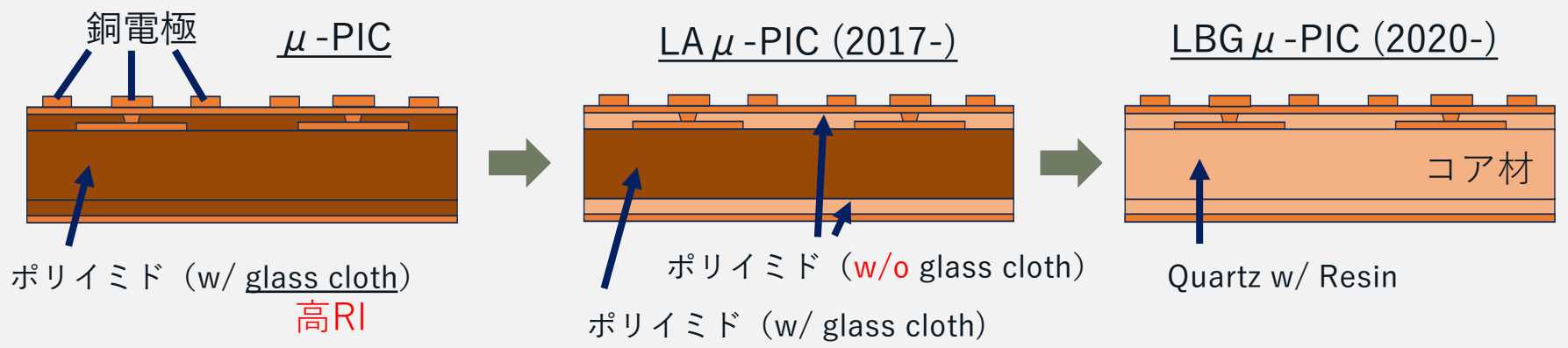
Low α(LA)μ-PIC  
NEWAGE2020 & 2023

低バックグラウンド化による感度の向上を行ってきた。

- Low α (LA) μ-PIC: 検出器表面からの α を抑制  
→ 検出感度向上 (PTEP (2023) 103F01)
- 一方でラドンBGが顕在化  
→ コア材をより低RIなものにした Low BG (LBG) μ-PIC を製作
- ラドンレート要求値: LA μ-PIC の < 1/10

研究目的: LBG μ-PIC の性能評価

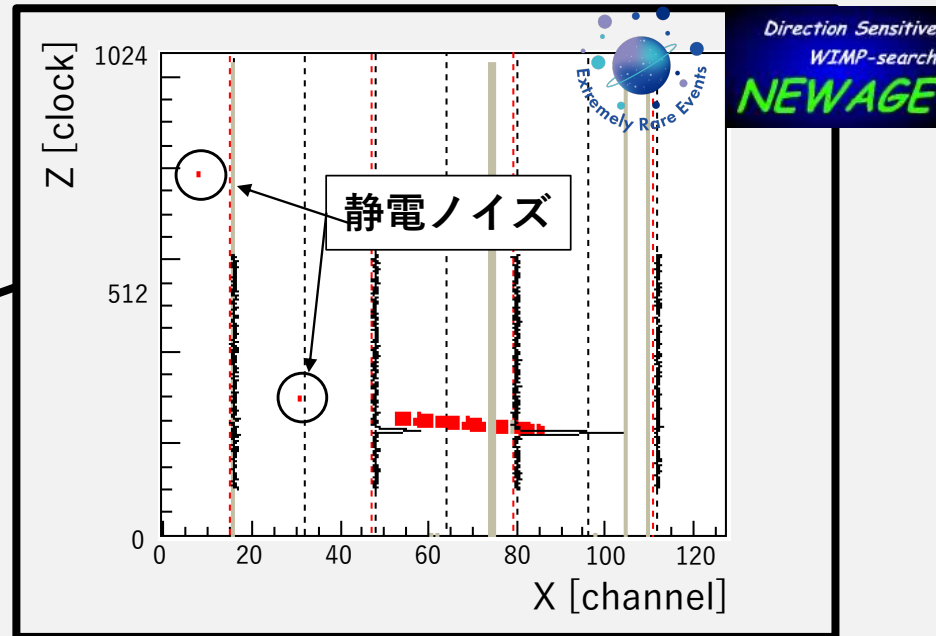
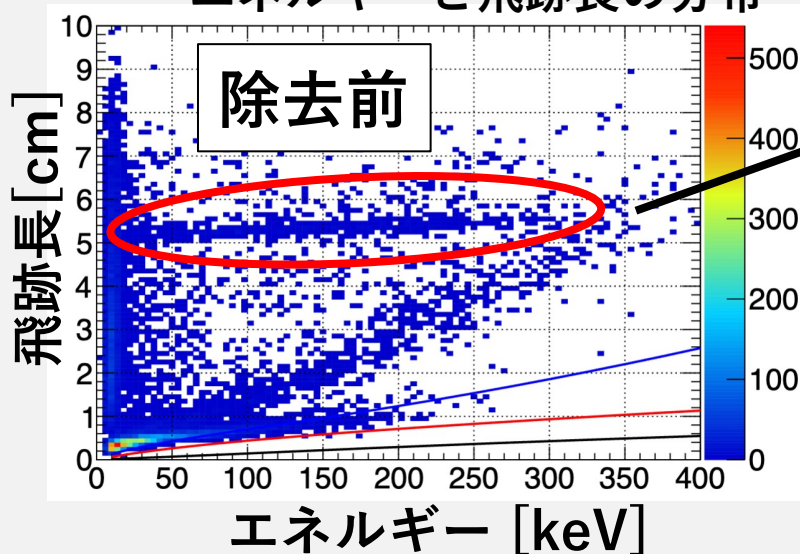
## μ-PICの改良





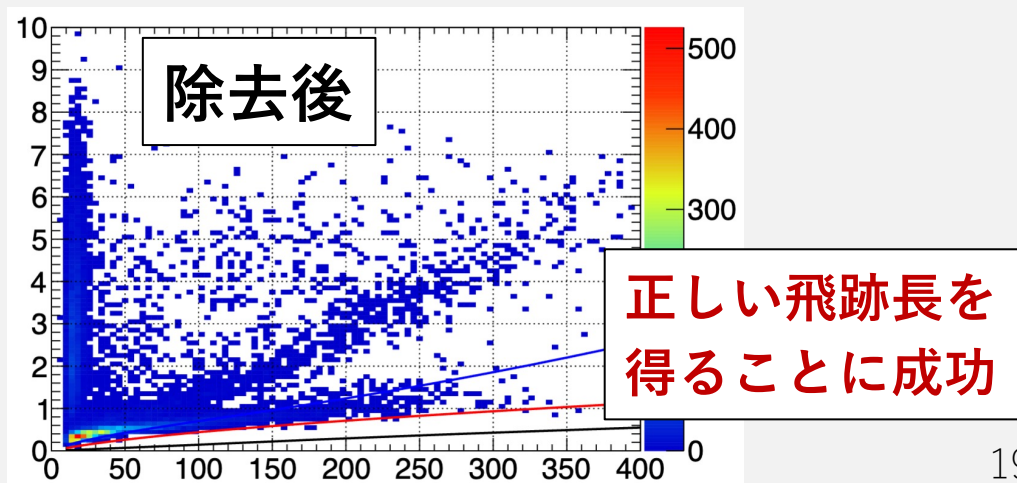
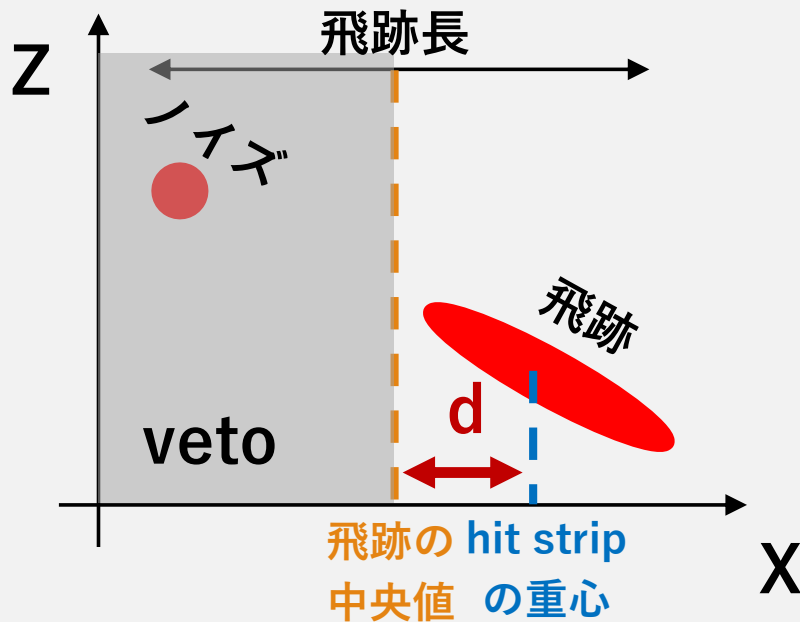
# ノイズの除去

エネルギーと飛跡長の分布

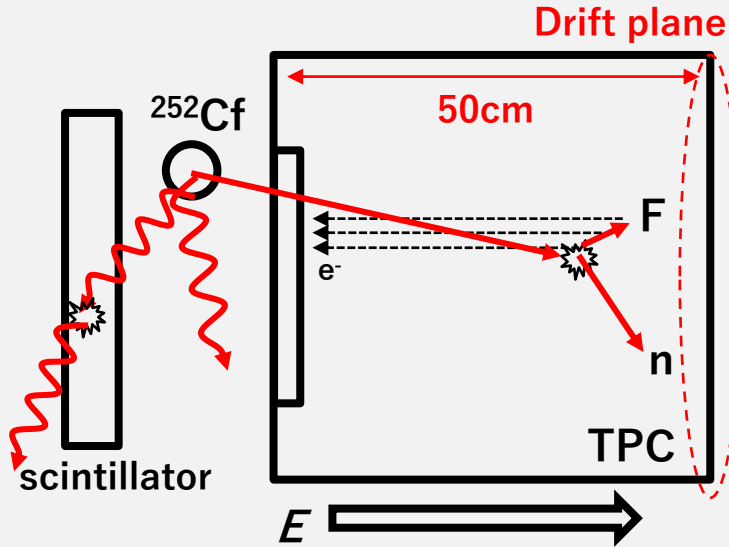
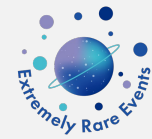


ノイズにより誤った飛跡長が計算されてしまう

d (飛跡の中心と hit strip の重心の差) に閾値を設定  
 → 飛跡の中央で分割して、hit の少ない方に veto

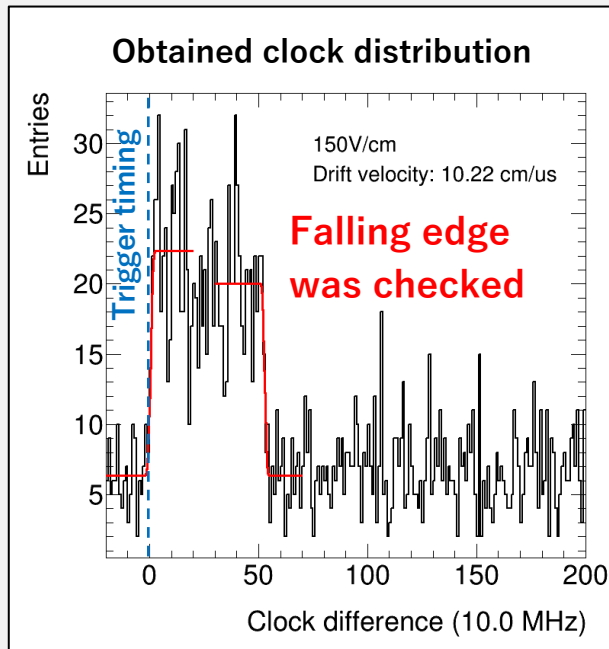
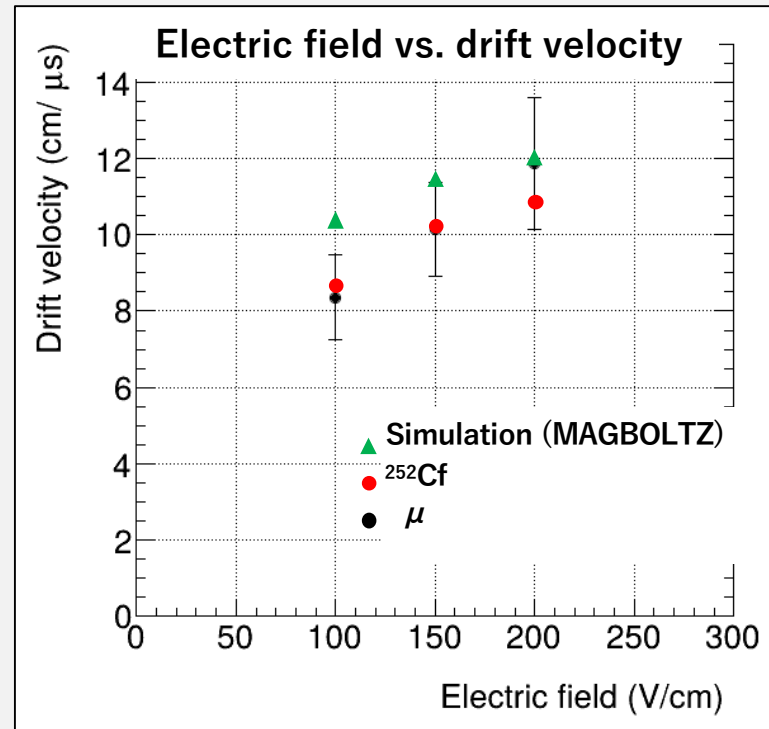


# Drift velocity measurement



## Measurement method

- Gamma rays and neutrons from a  $^{252}\text{Cf}$  source were used.
- Events were triggered by a scintillator.
- The drift velocity was calculated from the time difference between the scintillator signal and the TPC signal.



The drift velocity as a function of the electric field strength shows a trend consistent with the simulation.  
→ the electric field is properly formed.

# 検出器のパラメータ校正

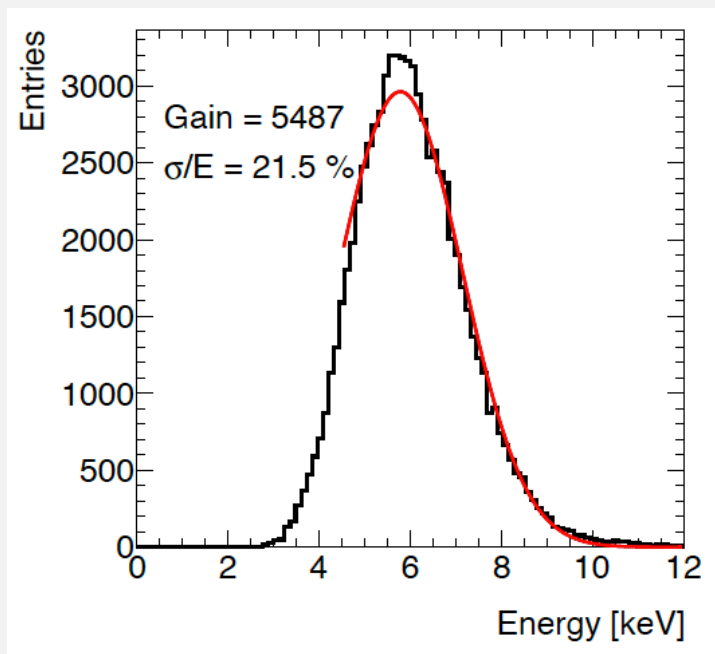


エネルギー、飛跡長を再構成するためには較正值を求める必要がある

- エネルギー

- $^{55}\text{Fe}$ の5.9 keV X線
- $\text{CF}_4$ ガス、0.1 atm (現行NEWAGEと同様)

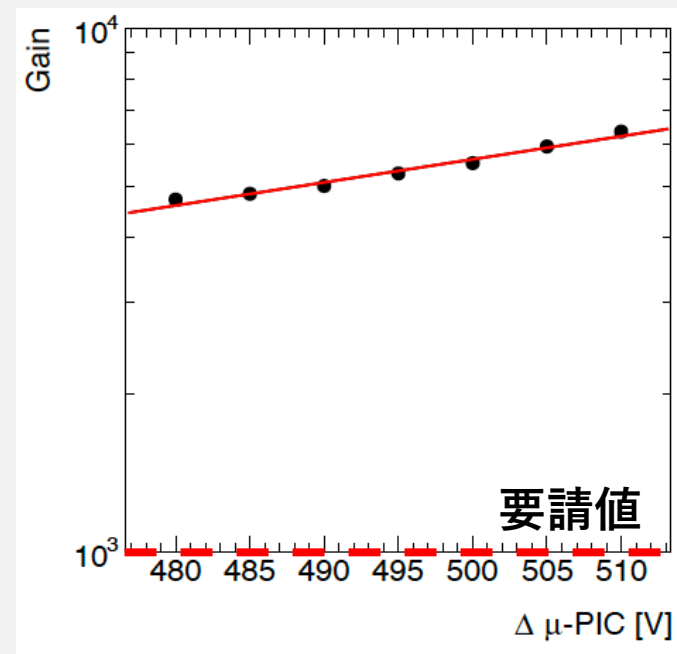
分解能評価 (要請値:  $\sigma = 12.4\% @ 50 \text{ keV}$ )



- 分解能:  $\sigma = 21.5\% @ 5.9 \text{ keV}$

- 外挿により要請値達成可能の見積もり

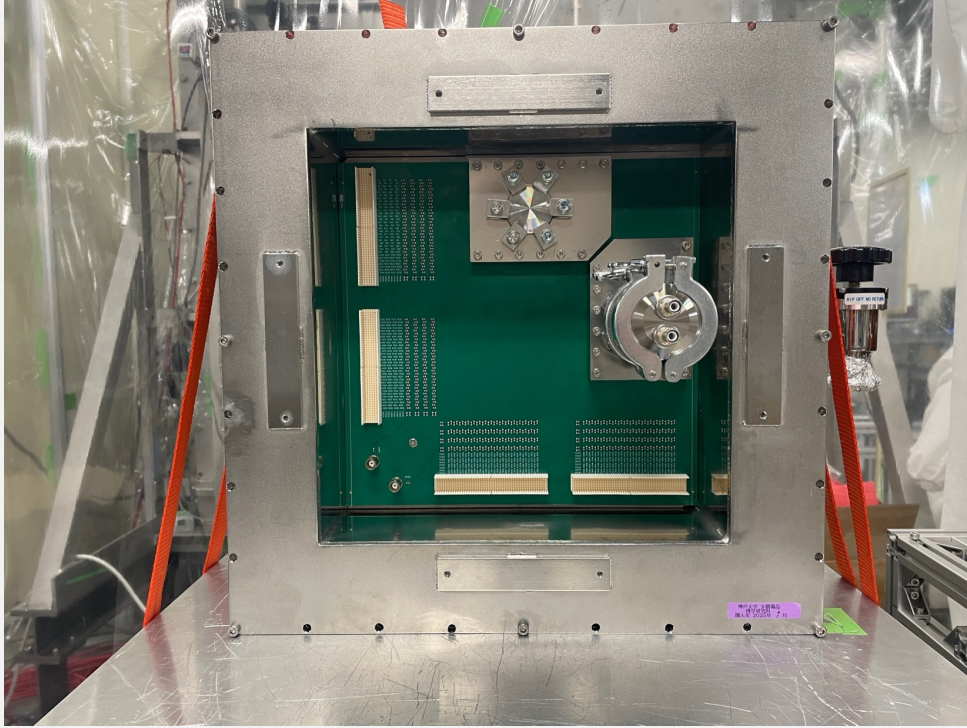
ゲイン評価 (要請値:  $> 1000$ )



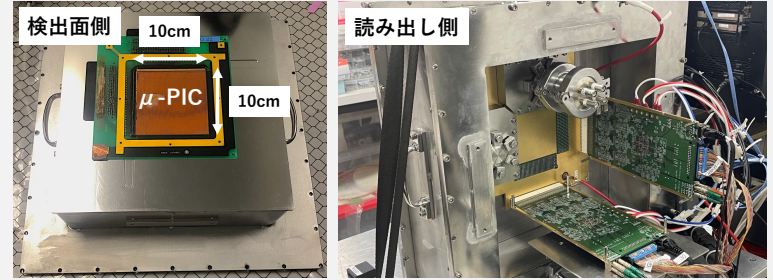
- 放電のない電圧値で達成可能

# 角度分解能の向上に向けて

## Module-2



## Module-1



## 性能比較

	Module-1	Module-2
Detection area	10×10 cm <sup>2</sup>	10×10 cm <sup>2</sup>
Strip pitch	800 μm	400 μm

➤ 現行NEWAGEと同じ400 μmのstrip pitch

→ 50 keV<sub>ee</sub>以下での角度情報再構成を目標として現在製作が進行中